



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 01170

(22) Data de depozit: 24.11.2010

(41) Data publicării cererii:
29.06.2012 BOPI nr. 6/2012

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI
NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

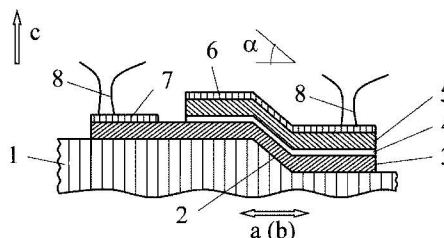
• LECA VICTOR, STR. GHEORGHE POLIZU
NR.1-7, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
• ANDRONESCU ECATERINA, STR.
GHEORGHE POLIZU NR.1-7, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:

(54) METODĂ DE FABRICARE *IN SITU* A JONȚIUNILOR
JOSEPHSON TIP RAMPĂ PE BAZĂ DE FILME SUBȚIRI DIN
SUPRACONDUCȚORI CERAMICI

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de fabricare *in situ* a jonționilor Josephson tip rampă pe bază de filme subțiri, din supraconductori ceramici. Metoda conform invenției constă într-o primă etapă, în care pe un substrat (1) se definește o rampă (2) printr-un proces convențional de litografie și prin atac fizic cu ioni de Ar, ce formează un unghi (α) cu suprafața substratului (1), într-o etapă ulterioară, după un tratament chimic și termic al suprafeței substratului (1) și rampei (2), se depun componentele jonționii, și anume, un electrod (3) supraconductor inferior, o barieră (4) nesupraconductoră, un electrod (5) nesupraconductor superior și un electrod (6) metalic, într-o altă etapă se definesc dimensiunile laterale ale jonționii Josephson prin litografie și atac fizic cu ioni de Ar, în același timp eliminându-se din jurul jonționii electrodul (5) superior și bariera (4), apoi pe electrodul (3) inferior se depune un electrod (7) metalic, după care se realizează contacte (8) electrice pe cei doi electrozi (6 și 7) metalici, pentru măsurarea caracteristicilor electrice ale jonționii.



Revendicări: 10
Figuri: 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



METODA DE FABRICARE IN-SITU A JONCTIUNILOR JOSEPHSON TIP RAMPA PE BAZA DE FILME SUBTIRI DIN SUPRACONDUCTORI CERAMICI

Autori: Victor Leca, Ecaterina Andronescu

DESCRIEREA INVENTIEI

Prezenta inventie prezinta o metoda de fabricare a jonctiunilor Josephson tip rampa pe baza de materiale supraconductoare cu temperatura critica ridicata in care interfetele dintre electrozii supraconductori (S) si bariera nesupraconductoare (N), atat in directia axei c , cat si in planul ab , sunt create in-situ, rezultand o jonctiune Josephson tip SNS cu caracteristici electrice imbunatatite si reproductibilitate ridicata, independent de materialul supraconductor. Specific, aceasta metoda permite formarea in-situ a interfetelor dintre electrozii supraconductori si bariera nesupraconductoare, eliminand problema rezistivitatii electrice mari a acestor interfete existente in cazul unei metode de fabricare ex-situ a jonctiunilor. Prin aplicarea acestei metode se obtin valori imbunatatite ale curentului critic pentru conductie in planul ab al jonctiunii si, de asemenea, realizarea jonctiunilor necesita un numar redus de pasi atat in ceea ce priveste fabricarea componentelor jonctiunii, cat si pentru procesul de litografie, filmele subtiri reprezentand electrozii supraconductori si bariera nesupraconductoare fiind obtinute intr-un singur pas, fara expunere la conditii ex-situ.

Jonctiunile supraconductor/izolator/supraconductor (SIS) reprezinta elementul cheie al componentelor electronice supraconductoare pe baza de supraconductori conventionali (metalici, cu valori mici ale temperaturii critice, T_c) sau pe baza de supraconductori ceramici (oxidici, cu valori mari ale T_c). O jonctiune SIS [1] este constituita din doi electrozi supraconductori separati de un material nesupraconductor sau izolator electric, numit bariera, cu grosime mica fata de dimensiunea electrozilor. In cazul in care distanta dintre electrozii supraconductori este suficient de mica astfel incat functiile de unda ale celor doi supraconductori se suprapun, se obtiune o jonctiune tunel supraconductoare [1]. Brian Josephson a aratat ca aceasta jonctiune poate transporta un curent de valoare finita (supracurent) [2]; acest tip de jonctiuni se numesc jonctiuni Josephson [3]. Supracurentul printr-o jonctiune are o dependenta sinusoidala de diferenta de faza ϕ dintre cei doi electrozi supraconductori conform relatiei $I=I_c \sin \phi$, unde I_c reprezinta valoarea maxima a supracurentului, cunoscuta si sub denumirea de curent critic [1, 2].

Jonctiunile SIS ofera posibilitatea studierii proprietatilor de baza ale materialelor supraconductoare prin utilizarea fenomenului de tunelare a quasi-particulelor sau prin tunelare Josephson [4, 5]. In cazul jonctiunilor pe baza de supraconductori ceramici, fabricate prin depunere secventiala a componentelor jonctiunii (electrozii supraconductori si bariera izolatoare), cum este si cazul jonctiunilor tip rampa [6], interfetele trebuie sa fie lipsite de impuritati, cu o distributie uniforma a compozitiei si structurii cristaline si sa aiba o rugozitate redusa (cu valori apropiate lungimii de coherenta a materialului supraconductor, care este de ordinul a cativa Angstromi) [7].

Jonctiunile tip rampa iau in considerare avantajele datorate faptului ca, pentru conditii de depunere optime, filmele din compusi supraconductori cu temperatura critica ridicata au o crestere epitaxiala, preferential cu axa cristalografica c perpendiculara pe suprafata substratului [8]. In acest tip de jonctiuni tunelarea (deci, conductia electrica) se realizeaza in plan paralel cu suprafata substratului (planul ab) [8]. Rampa este creata prin litografie dintr-un film continand electrodul inferior si o bariera izolatoare electric, in directia axei cristalografice c , dupa care se depun filmele reprezentand bariera jonctiunii (dintre cei doi

24-11-2010

electrozi, in planul *ab*) si electrodul superior, proces urmat de structurarea jonctiunilor. Jonctiunile tip rampa pot fi plasate oriunde pe cip, la orice unghi si in orice configuratie, permitand astfel fabricarea de circuite electronice complexe, un avantaj fata de alte tipuri de jonctiuni, cum ar fi jonctiunile tip bicristal [8, 9]. Dezavantajul principal este dat de faptul ca dupa realizarea rampei in electrodul inferior si bariera (in directia axei *c*), zona expusa procesului de litografie are un caracter amorf si, de asemenea, cu stoichiometrie diferita fata de compozitia initiala a electrodului si barierei. Ca urmare, interfata dintre suprafata rampei si urmatorul component al jonctiunii (bariera in planul *ab*) are rezistivitatea ridicata [9]. Metodele prin care se pot obtine valori reduse ale rezistivitatii interfetei implica un tratament termic al interfetei rampei inainte de depunerea celei de a doua bariere sau a electrodului superior, sau prin depunerea pe suprafata rampei a unui strat foarte subtire din materialul electrodului inferior in scopul refacerii stoichiometriei din zona rampei expusa procesului de litografie. Dezavantajul major al acestor metode este reproductibilitatea redusa, proprietatile electrice ale jonctiunilor astfel fabricate fiind dependente de caracteristicile electrodului inferior (compozitie, rugozitate, etc) [9].

Fenomenul de tunelare este foarte sensibil la proprietatile interfetelor si la defectele structurale ale filmelor, de aceea obtinerea de jonctiuni Josephson tip rampa de calitate superioara pe baza de supraconductori ceramici, cu distributie uniforma a valorilor curentului critic, este dificila deoarece metodele de fabricatie existente includ etape ex-situ si, de aceea, nu toate interfetele dintre componentele jonctiunii sunt obtinute in urma unui proces in-situ, cu efecte negative asupra caracteristicilor electrice ale jonctiunii.

Conform prezentei inventii, jonctiunile Josephson SNS tip rampa sunt fabricate in urmatoarele etape (Fig 1):

1. in prima etapa pe un substrat (1) se defineste rampa (2) printr-un proces conventional de litografie si prin atac fizic cu ioni de Ar; substratul este constituit dintr-un material cu structura si parametrii de retea, in planul *ab*, similari cu cei ai materialului supraconductor ce vor forma electrozii jonctiunii.
2. ca urmare a atacului fizic cu ioni de Ar suprafata rampei rezultate are un caracter amorf; de aceea, in etapa urmatoare substratul este supus unui tratament chimic in scopul eliminarii, in special, a zonei amorse de pe suprafata rampei si refacerii stoichiometriei prin eliminarea acestei zone. Compozitia solutiei folosite pentru tratamentul chimic este aleasa in functie de caracteristicile substratului.
De exemplu, pentru un substrat de SrTiO_3 , acesta este tratat chimic timp de 30 de secunde intr-o solutie formata din $\text{HF}+\text{NH}_4\text{F}$ ($\text{pH}=4,5$), intr-o baie cu ultrasunete.
3. substratul rezultat la 2. este apoi supus unui tratament termic la temperaturi intre $800\text{ }^\circ\text{C}$ si $1000\text{ }^\circ\text{C}$, in aer sau in oxigen, in functie de compozitia substratului. Prin acest tratament termic suprafata substratului si a rampei, rezultata in urma tratamentul chimic, este recrystalizata, obtinandu-se o suprafata cu rugozitate redusa, sub 10^{-9} m.
4. Pe substratul (1) astfel rezultat, ce contine rampa (2) obtinuta conform etapelor anterioare, se depun in-situ, alternativ in directia axei *c* a substratului (in directia normalei substratului): i. un strat subtire (3) dintr-un material supraconductor cu temperatura critica ridicata, formand electrodul inferior al jonctiunii; ii. un strat subtire (4) dintr-un compus oxidic, nesupraconductor la temperatura de lucru a jonctiunii, formand bariera jonctiunii; iii. un strat subtire (5) dintr-un material supraconductor cu temperatura critica ridicata, formand electrodul superior al jonctiunii; iv. un strat subtire (6) dintr-un metal (Au), reprezentand electrodul pentru contacte electrice. Inainte de fabricarea heterostructurii, substratul este supus unui tratament termic, in-situ, in scopul curatarii suprafetei de eventualele impuritati rezultate ca urmare a etapelor ex-situ de preparare a suprafetei. Heterostructura astfel rezultata, formata din

electrod inferior (3) – bariera (4) – electrod superior (5) – metal (6), contine jonctiunea Josephson tip rampa in care interfetele dintre electrozii supraconductori si bariera nesupraconductoare sunt create *in-situ*, fara expunere la conditii *ex-situ*.

5. In etapa urmatoare dimensiunile jonctiunilor sunt definite prin litografie si atac fizic cu ioni de Ar, in acelasi timp fiind indepartate electrodul superior si bariera in zonele din jurul jonctiunii, pastrandu-se structura electrod inferior – bariera – electrod superior din zona rampei.
6. Dupa definirea jonctiunii, un strat subtire (7) dintr-un metal (Au) se depune pe electrodul inferior pentru contacte electrice.
7. Pentru realizarea masuratorilor electrice (de exemplu, caracteristicile curent-tensiune, $I-V$) pe electrozii din metal (Au) se aplica contacte electrice (8), cate un contact electric pentru curent si tensiune, pe fiecare electrod. Datorita valorii lungimii de coerenta mult mai mari in directia axei $a(b)$, ξ_{ab} , fata de valoarea lungimii de coerenta in directia axei c , ξ_c , conductia electrica in interiorul jonctiunii tip rampa astfel rezultate se realizeaza in planul ab .

Referinte bibliografice

1. A. Barone, *Physics and applications of the Josephson effect*, Ed. John Wiley and Son (1982)
2. B. D. Josephson, *Supercurrents through barriers*, Adv. Phys. 14, 419 (1965)
3. B. D. Josephson, *Possible new effects in superconductive tunneling*, Phys. Lett. 1, 251 (1962)
4. W. Buckel, R. Kleiner, *Supraleitung*, Ed. Wiley-VCH, Weinheim (2004)
5. Ariando, D. Darminto, H.-J. H. Smilde, V. Leca, D. H. A. Blank, H. Rogalla si H. Hilgenkamp, *Phase-sensitive order parameter symmetry test experiments utilizing $Nd_{2-x}Ce_xCuO_{4-y}/Nb$ zigzag Junctions*, Phys. Rev. Lett. 94, 167001 (2005)
6. J. Gao, Yu. Boguslavskij, B. B. G. Klopman, D. Terpstra, G. J. Gerritsma si H. Rogalla, *Characteristics of advanced $YBa_2Cu_3O_x/PrBa_2Cu_3O_x/YBa_2Cu_3O_x$ edge type junctions*, Appl. Phys. Lett. 59, 2754 (1991)
7. D. P. Norton, *Science and technology of high-temperature superconducting films*, Annu. Rev. Mater. Sci. 28, 299 (1998)
8. H. J. H. Smilde, H. Hilgenkamp, G. J. Gerritsma, D. H. A. Blank si H. Rogalla, *Realization and properties of ramp-type $YBa_2Cu_3O_{7.8}/Au/Nb$ junctions*, Physica C 350, 269 (2001)
9. H. J. Smilde, *Josephson contacts between high- T_c and low- T_c superconductors*, Teza de doctorat, Universitatea din Twente, (2001)

REVEDICARI

1. o jonctiune Josephson tip rampa (Fig 1), **caracterizata prin aceea ca** este constituita din:
 - a) un substrat (1), caracterizat de o suprafata;
 - b) o rampa (2) in substratul (1), suprafata rampei formand un unghi (α) cu suprafata substratului;
 - c) un prim strat subtire (3), dintr-un compus supraconductor cu temperatura critica ridicata, crescut pe suprafata substratului si a rampei, formand electrodul inferior;
 - d) un al doilea strat subtire (4), crescut pe electrodul inferior, constituit dintr-un compus oxidic nesupraconductor la temperatura de lucru a jonctiunii; acest strat subtire reprezinta bariera jonctiunii atat in directia axei cristalografice c , cat si in planul ab al jonctiunii;
 - e) un al treilea strat subtire (5), crescut pe bariera, dintr-un compus supraconductor cu temperatura critica ridicata, reprezentand electrodul superior.

Toate cele 3 straturi subtiri (electrozii si bariera) au o distributie omogena a grosimii pe suprafata substratului si a rampei.
2. o rampa (2) in substratul de la revendicarea 1, **caracterizata prin aceea ca** este definita prin:
 - a) litografie optica sau de electroni si atac fizic cu ioni de Ar;
 - b) un tratament chimic a suprafetei substratului rezultata la revendicarea 2a;
 - c) un tratament termic, realizat pentru recrystalizarea suprafetei substratului si a rampei rezultata la revendicarea 2b.
3. Jonctiunea supraconductoare de la revendicarea 1, **caracterizata prin aceea ca** electrodul inferior (3) si electrodul superior (5) sunt constituiti din acelasi compus supraconductor cu temperatura critica ridicata sau din compusi supraconductori cu temperatura critica ridicata avand compozitii diferite.
4. Jonctiunea supraconductoare de la revendicarea 3, **caracterizata prin aceea ca** materialul barierei (4) este orice compus oxidic nesupraconductor la temperatura de lucru a jonctiunii.
5. Jonctiunea supraconductoare de la revendicarea 4, unde grosimea minima a barierei (4) este cel putin egala sau mai mare decat rugozitatea electrodului inferior (3) si/sau a valorii cele mai mari a lungimii de coerenta in directia axei c corespunzatoare compusului/compusilor supraconductor/i din care sunt realizati electrozii jonctiunii (3 si 5).
6. Jonctiunea supraconductoare de la revendicarea 5, **caracterizata prin aceea ca** bariera (4) are o grosime maxima de aproximativ 40×10^{-9} m.
7. Jonctiunea supraconductoare de la revendicarea 1, **caracterizata prin aceea ca** electrozii supraconductori (3 si 5) au o grosime cel putin egala cu grosimea minima pentru care materialul electrozilor este supraconductor in conditiile de crestere a filmelor subtiri reprezentand electrozii jonctiunii.
8. Jonctiunea supraconductoare de la revendicarea 1, **caracterizata prin aceea ca** suprafata rampei (2) formeaza un unghi (α) de minimum 5° si maximum 45° cu suprafata substratului (1).
9. Jonctiunea supraconductoare de la revendicarea 1, **caracterizata prin aceea ca** straturile subtiri reprezentand electrozii supraconductori (3 si 5) si bariera nesupraconductoare (4) sunt crescute epitaxial, cu axa lor c perpendiculara pe suprafata substratului.
10. Jonctiunea supraconductoare de la revendicarea 9, **caracterizata prin aceea ca** toate interfetele dintre componentele (3), (4) si (5) ale jonctiunii sunt create in-situ.

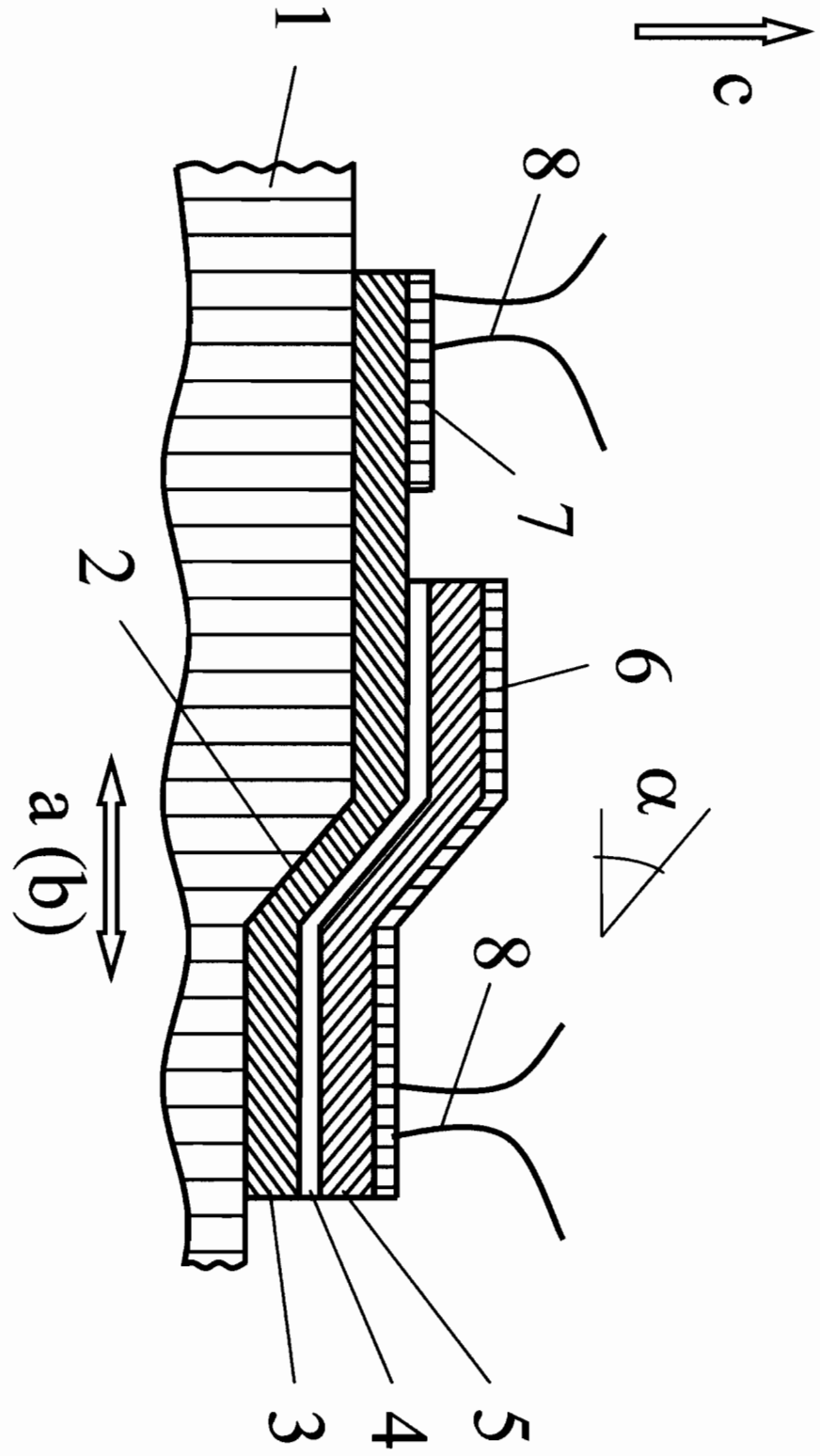


Fig 1.